

РАДІОЛОКАЦІЙНО-ВИХРОСТРУМОВИЙ ГЕОРАДАР

Абрамович А. О., магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, osslo@ukr.net

RADAR-EDDY CURRENT GEORADAR

Anton Abramovych, master,

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine, osslo@ukr.net

Вступ

Сучасний георадар — це складний геофізичний прилад для неруйнівного контролю неоднорідностей середовища. Існує велика кількість типів георадарів, які відрізняються за своїм призначенням. Вони будуються за різними функціональними схемами і поділяються за принципом дії [1-3] на три основні типи: локаційні, які працюють на передачу-прийом; побудовані на принципі биття частот задаючого генератора і сигналу, відбитого від об'єкту, що досліджується, вихроструміві. На ринку георадари представлені моделями різних виробників (Minelab, Garrett, Tesoro, Fisher), огляд яких надається в [4].

Кожен із георадарів має свою структуру, свої переваги та недоліки. Функціональна схема георадару визначається його призначенням: для пошуку чорних чи кольорових металів (металодетектори), розмінування, використання в археологічних та геологічних розвідках (для пошуку мідних та золотих самородків) та ін. В залежності від призначення вибираються функціональні вузли, які бувають не завжди оптимальними і їх можна замінити на кращі.

Постановка задачі

В основі роботи георадару лежить підповерхневе зондування - явище відбивання електромагнітної хвилі, яка випромінюється антеною, від межі поділу шарів з різною діелектричною чи магнітною проникністю. Такими межами є як геологічні об'єкти, так і локальні неоднорідності різної природи. На теперішній час для підповерхневого зондування використовується як радіолокаційні, так вихроструміві методи визначення неоднорідностей [5]. Георадари, що реалізують ці методи, з великою вірогідністю визначають неоднорідності та глибини їх залягання, але не завжди можуть визначити характер неоднорідності, наприклад, це сталь, латунь чи золото. Тому виникла необхідність в створенні георадару вільного від цього обмеження. В статті пропонується поєднати переваги радіолокаційного та вихроструміві методів ідентифікації неоднорідностей в одній системі, що

дозволить підвищити вірогідність виявлення та провести ідентифікацію типу виявленої неоднорідності.

Теоретична частина

Структурна схема системи, що реалізує такий підхід, наведена на рис. 1.

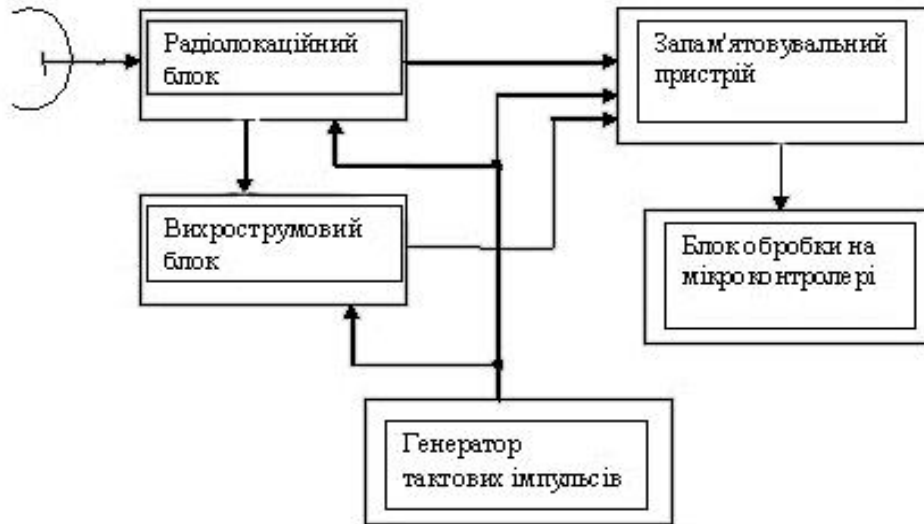


Рис. 1 Структурна схема радіолокаційно-вихрострумівого георадара

Прийнятий антеною сигнал паралельно обробляється в радіолокаційному та вихрострумівому блоках. Після оцифровування сигнали записуються у пам'ять. Із пам'яті на мікроконтролер поступають виборки сигналів із радіолокаційного та вихрострумівого блоків. Блок обробки використовується для почергової обробки двох сигналів з метою поєднання переваг двох різних методів.

Розглянемо роботу радіолокаційного блоку.

Якщо радіолокаційний сигнал описується дійсною функцією $s(t)$, то гармонічний склад сигналу в частотній області описується перетворенням

$$\text{Фур'є } S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-2\pi ift} dt.$$

Спектр відбитого імпульсу $S^*(f)$ в частотній області відповідає виразу $S^*(f) = R(f)S(f)$ [6]. Запишемо відбитий сигнал у часовій області:

$$S^*(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{j=1}^{\infty} r_{j,j+1} e^{2ik \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau} \right] \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi ift} dt e^{2\pi ift} df \quad (1)$$

Якщо середовище не дисперсне, то $n(z, f) = n(z)$. Із врахуванням то-

го, що коефіцієнт відбиття описується інтегралом по просторовій координаті, здійснивши перестановку інтегралів по незалежним координатам, відбитий імпульс можна представити в такому вигляді:

$$S^*(t) = \sum_{j=1}^{\infty} r_{j,j+1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi i f t} dt \right] e^{2\pi i f \left[t + \frac{2z_j}{c} \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau \right]} df.$$

Вираз

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi i f t} dt \right] e^{2\pi i f \left[t + \frac{2z_j}{c} \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau \right]} df$$

описує початковий сигнал, що зміщений у часі на величину $\frac{2z_j}{c} \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau$.

Таким чином відбитий сигнал можна представити сумою парціальних імпульсів $S_j^*(t)$, кожен із яких збігається з початковим, помноженим на парціальний коефіцієнт відбиття $r_{j,j+1}$ від границі z_j і зміщеним у часі на

величину $\frac{2z_j}{c} \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau$.

Такий сигнал подається на вхід запам'ятовувального пристрою та вихрострумного блоку, який визначає тип виявленого металу.

Запишемо напругу, яка вноситься досліджуваною неоднорідністю у приймальну антену в вихрострумовому блоці [7]

$$\overline{U}_{ВД} = j\omega \mu_0 \pi N_D N_3 R_D \overline{I} \int_0^{\infty} \varphi_1(x, \beta) J_1(x R_{3*}) J_1(x) e^{-x h_*} dx, \quad (2)$$

де N_D, N_3 — кількість витків у приймальній рамці та у передавальній антені,

$$h_* = \frac{h_3 + h_D}{R_3}; \quad R_{3*} = \frac{R_D}{R_3}$$

У нашому випадку товщина досліджуваного об'єкту більша від глибини проникнення вихрових струмів $T > \delta$. З врахуванням цієї умови функція впливу $\varphi_1(x, \beta)$ із (10) має наступний вигляд:

$$\varphi_1(x, \beta) = \frac{\mu_r - \sqrt{x^2 + j\beta^2}}{\mu_r + \sqrt{x^2 + j\beta^2}},$$

де μ_r — відносна магнітна проникність, $x = \lambda R_3$, $\beta = R_3 \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$, σ —

провідність металу.

У формулі (2) представимо струм у витку через напругу прийнятого сигналу на активному навантаженні, тобто $\bar{I} = \frac{S^*}{R}$.

Тоді:

$$\bar{U}_{ВД} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{j=1}^{\infty} r_{j,j+1} e^{2ik \int_0^{z_j} n(\tau, f) d\tau} \right] \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi ift} dt e^{2\pi ift} df}{R} \quad (3)$$
$$j\omega \mu_0 \pi N_D N_3 R_\partial \int_0^{\infty} \Phi_1(x, \beta) J_1(x R_{3*}) J_1(x) e^{-x h_*} dx$$

Таким чином напруга, що приходить у приймальну антену від об'єкта контролю, залежить від провідності металу.

Сигнал $\bar{U}_{ВД}$ подається на вхід запам'ятовувального пристрою.

Блок обробки на мікроконтролерному пристрої по чергово зчитує сигнали з радіолокаційного та вихреструмового блоків та обробляє їх.

Висновки

Реалізація георадару на основі поєднання радіолокаційного та вихреструмового методів дозволяє визначати місцеположення об'єкту та проводити розрізнення типу неоднорідності, наприклад кольорових металів (золото, срібло, мідь і т.д.), що дає можливість більш чітко ідентифікувати неоднорідності при підповерхневому зондуванні.

Перелік посилань

1. Radar Upgrades Handheld Mine Detectors : Jane's International Defense Review. February 1997.
2. Ivashov S. The Holographic Principle in Subsurface Radar Technology / S. Ivashov, V. Razevig, I. Vasilyev, A. Zhuravlev, T. Bechtel, L. Capineri // Int. Symposium to Commemorate the 60th Anniversary of the Invention of Holography. – Springfield, Massachusetts USA, October 27-29, 2008. – pp. 183-197.
3. Capineri L. Comparison of GPR Sensor Types for Landmine Detection and Classification / Capineri L., Ivashov S., Bechtel T., Zhuravlev A., Falorni P., Windsor C., Borgioli G., I. Vasiliev, A. Sheyko // 12th Int. Conf. on Ground Penetrating Radar ; June 16-19, 2008. – 2008, Birmingham, UK.
4. Абрамович А. О. Металодетектори / А.О. Абрамович, С.М. Дяченко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2011. – № 46. – с. 186-193.
5. Jol M. H. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. Joy. – Elsevier, 2009. – 574с. – ISBN: 978-0-444-53348-7.
6. Daniels D. J. Ground Penetrating Radar (2nd Edition) / D. J. Daniels. – London, UK.: Institution of Electrical Engineers, 2004, – 761 p.
7. Неразрушающий контроль: в 5 т. Т. 3. Электромагнитный контроль: Практ. посо-

бие / Под ред. В. В. Сухорукова – М. : Высш. шк., 1992. – 312 с.

References

1. *Radar Upgrades Handheld Mine Detectors*. Jane's International Defense Review. February 1997.
2. Ivashov S., Razevig V., Vasilyev I., Zhuravlev A., Bechtel T., Capineri L. (2008) The Holographic Principle in Subsurface Radar Technology. *International Symposium to Commemorate the 60th Anniversary of the Invention of Holography*, Springfield, Massachusetts USA, October 27-29, pp. 183-197.
3. Capineri L., Ivashov S., Bechtel T., Zhuravlev A., Falorni P., Windsor C., Borgioli G., Vasiliev I. and Sheyko A. (2008) Comparison of GPR Sensor Types for Landmine Detection and Classification, *12th International Conference on Ground Penetrating Radar*, June 16-19, Birmingham, UK.
4. Abramovych, A. O. and Dyachenko, S. M. (2011) Metalodetectors. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparaturbuduv.* no. 46, pp. 186-193. (in Ukrainian)
5. Jol M. H. (2009) *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, Elsevier, 574 p. – ISBN: 978-0-444-53348-7.
6. Daniels D. J. (2004) *Ground Penetrating Radar (2nd Edition)*, London, UK, Institution of Electrical Engineers, 761 p. – ISBN: 978-0-86341-360-5.
7. Sukhorukov V.V. eds. (1992) *Nerazrushayushchii kontrol'*. Tom 3. *Elektromagnitnyi kontrol'* [Nondestructive testing: Vol. 3. Electromagnetic testing]. Moskov, Vysshaya shkola, 312 p.

Абрамович А. О. Радіолокаційно-вихрострумний георадар. Реалізація георадара на основі поєднання радіолокаційного та вихрострумного методів дозволяє визначати місцеположення об'єкту та проводити розрізнення типу неоднорідності, наприклад кольорових металів (золото, срібло, мідь і т.д.), що дає можливість більш чітко ідентифікувати неоднорідності при підповерхневому зондуванні.

Ключові слова: *металодетектори, георадари, обробка даних, радіолокаційно-вихрострумний метод.*

Абрамович А. А. Радиолокационно-вихретоковый георадар. Реализация георадара на основе сочетания радиолокационного и вихретокового методов позволяет определять местоположение объекта и проводить различия типа неоднородности, например цветных металлов (золото, серебро, медь и т.д.), что дает возможность более четко идентифицировать неоднородности при подповерхностном зондировании.

Ключевые слова: *металлодетекторы, георадары, обработка данных, радиолокационно-вихретоковый метод.*

Abramovych A. Radar-eddy current GPR.

Introduction. At present there are many electrical schematic metal detectors (the most common kind of ground penetrating radar), which are differ in purpose.

Each scheme has its own advantages and disadvantages compared to other schemes. Designing metal detector problem of optimal selection of functional units most schemes can only work with a narrow range of special purpose units. Functional units used in circuits can be replaced by better ones, but specialization schemes do not provide such a possibility.

Description of problem Author has created a "complex for research of functional units of metal detectors" that is the universal system that meets the task.

With this set of studies conducted on the practical implementation of radar-eddy current

method of distinguishing non-ferrous metals (gold, copper, etc.) is based.

Description of method Mathematical tools using have to be treated as a signal metal detector to distinguish metals: gold, copper and others.

Conclusions Processing of partial pulses may have information about beforehand signal loss during propagation in heterogeneous media with lossy nonuniform distribution parameters. Using eddy currents To calculate the value of the input voltage depending on the conductivity of the metal in the receiving antenna. Combining two different methods for processing the received signal theoretically it could be proved that with high probability can distinguish non-ferrous metals - gold, copper etc.

***Keywords:** metal detectors, GPR, data processing, radar-eddy current method*